

引用格式:田凤亮. 基于司机行为的露天矿道路状况在线评估方法[J]. 有色设备, 2024, 38(6): 58-62.

TIAN Fengliang. Online evaluation method for open-pit mine road conditions based on driver behavior[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2024, 38(6): 58-62.

# 基于司机行为的露天矿道路状况在线评估技术研究

田凤亮

(中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110015)

**[摘要]** 针对露天矿道路状况测量困难的问题,本文提出了一种基于司机行为的露天矿道路状况在线评估方法。该方法以路况恶劣程度与司机操作频繁程度呈正相关为基本假设,以司机驾驶过程中 CAN 总线上加速/制动踏板的输入为基础数据,司机常规操作的高振幅、低频率数据信号采用快速傅立叶变换,可实现对数据特征的提取和过滤。针对过滤后的特征数据结果,通过位置信息匹配卡车在露天矿对应道路的控制功率,形成司机对该路段上驾驶难易程度的个体认知指标。为降低评估过程中的偶然性,采用贝叶斯评分法获得道路状况的综合评分。现场研究表明,路况越差则司机操作越频繁的基本假设是合理的,基于司机行为的道路状况在线评估算法是有效的。

**[关键词]** 露天矿; 道路状况; 司机行为; 快速傅立叶变换; 在线评估

**[中图分类号]** TD824

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1003-8884(2024)06-0058-05

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.06.008

## 0 前言

当前,露天矿生产的常规模式为卡车间断工艺,该工艺主要通过电铲或液压铲进行采装作业,并利用矿用卡车进行物料的运输。卡车间断工艺因其生产组织方式的灵活性和强化开采,在露天矿领域得到了广泛的运用。尤其对于一些地质条件较为复杂的露天矿场而言,卡车间断工艺常常是不可或缺的。该工艺亦被称作电铲-卡车工艺或液压铲-卡车工艺,研究指出,其产生的相关成本占露天矿生产总成本的 60% 以上<sup>[1-3]</sup>。

露天矿道路作为连接装载点与卸载点的通道,矿用卡车在其上往返运输,露天矿道路成为卡车间断工艺流程中的重要枢纽<sup>[4-5]</sup>。在公路交通领域,道路质量的评估通常依据道路厚度、压实度和平整度等关键指标。其中,平整度指标因其直观性而被

广泛采用。道路平整度的测量方法分为直接测量和间接测量两大类。直接测量主要采用直尺法,即将直尺平置于待测路面上,直接测量道路与直尺之间的间隙;间接测量法则包括断面描绘法和颠簸累积法,其中颠簸累积法因其便捷性而较为常用,该方法将颠簸累积式平整仪安装于车辆后部,并以恒定速度行驶通过待测路面,利用仪器内置的位移传感器记录道路的起伏状况,并据此计算出国际平整度指数(IRI)<sup>[6-7]</sup>。考虑到露天矿区范围广且道路状况变化频繁,直接测量方法往往难以及时反映道路状况,而颠簸累积式平整仪不便于部署。因此,传统的道路状况评估方法在露天矿区的应用受到限制。

另一方面,道路作为车辆运行的基础设施,其质量直接影响车辆的运行状态,并对驾驶员的驾驶行为产生作用。在道路状况不佳的情况下,路面的崎岖与颠簸程度增加,导致驾驶员的操作频率上升。若能获取驾驶员在驾驶过程中对加速踏板与制动踏板的操作数据,那么在特定时间段内,司机操作的频繁程度在一定程度上能够反映出当前道路的状况。

综上,本文提出了一种基于司机驾驶行为的露天矿道路状况在线评估方法。首先,基于司机在驾驶过程中对加速踏板与制动踏板的操作数据,采用

**[收稿日期]** 2024-09-16

**[第一作者]** 田凤亮(1992—),男,内蒙古赤峰人,工程师,博士,主要从事露天矿智能化相关研究工作。

**[基金项目]** 国家重点研发计划(2023YFF1306001);中国煤炭科工集团有限公司科技创新创业资金专项项目(2024-MS007);中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司科技创新项目(NKJ014-2023)。

快速傅立叶变换技术过滤司机的常规操作,利用司机控制功率来表征不同路段上驾驶的难易程度,构建司机对道路的个体认知模型。最后,通过贝叶斯评分法综合评估道路状况。

## 1 道路状况在线评估方法原理

### 1.1 司机的控制功率

在大型矿用自卸卡车的运行过程中,速度调节主要依靠加速踏板与制动踏板这两个关键机构实现。加速踏板负责调节卡车电机的输入功率,而制动踏板则通过电子制动机制实现卡车的减速。在行驶期间,司机需持续操纵这两个机构,直至卡车到达装载或卸载地点。图1展示了在卡车行驶过程中,加速踏板输入信号随时间变化的动态趋势。

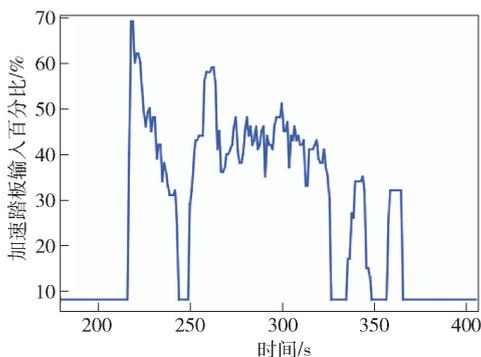


图1 矿用自卸卡车运行过程中加速踏板的输入信号

Fig.1 Input signal of accelerator pedal during operation of mining dump truck

加速踏板输入百分比作为衡量操纵幅度的关键指标,其单位为百分比(%)。同理,制动踏板输入亦按照此度量标准。司机的操作行为不仅与道路状况密切相关,而且整体上展现出显著的周期性规律。另外,在卡车启动与停止阶段,司机必然会对加速踏板或制动踏板进行操作;在卡车正常行驶的上坡与下坡路段,司机同样会对加速踏板或制动踏板进行操作。因此,这种常规操作显然不能参与路面状况的评价。

经分析可知,此类常规操作呈现出特定的特征:

①在执行这些操作时,司机的输入通常较大,例如在卡车启动或爬坡过程中,加速踏板的输入量往往相当显著;②这些操作的出现频率并不高,仅在几个关键位置才会出现此类操作。因此,若将司机对加速踏板或制动踏板的输入视为一种信号,则该常规操

作表现为高振幅、低频率的特性。

为排除常规操作输入的干扰,本文采用傅里叶快速变换<sup>[8-9]</sup>对加速踏板或制动踏板的输入信号进行频域分解,通过滤除低频成分,实现对常规操作的过滤。经过滤波处理后的数据更能准确反映司机的行为特征,而不包含司机为实现车辆到达目的地所进行的常规操作。

图2展示了卡车加速踏板输入信号在800s时间跨度内的变化情况。

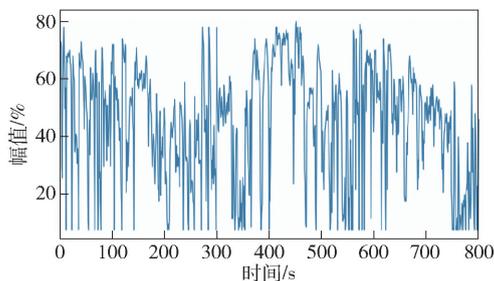


图2 司机操纵输入信号的原始波形

Fig.2 The original waveform of the input signal manipulated by the driver

通过进行傅里叶变换,实现了信号从时域到频域的转换,其结果如图3所示。

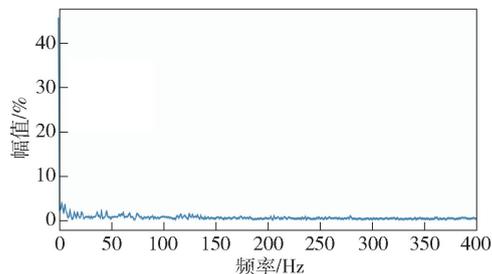


图3 司机操纵输入信号的频域分布

Fig.3 Frequency domain distribution of input signal manipulated by the drivers

对原始波形执行低通滤波处理后,得到的信号如图4所示。可以看出新的加速踏板输入在很大程度上保留了原始信号的特征,这些输入可被视为司机的常规操作行为。

通过对原始波形进行高通滤波处理,可提取出一系列高频信号,如图5所示,这些数据反映了司机为保持卡车稳定行驶所执行的加速踏板操作。

以加速踏板的输入为正值,制动踏板的输入为负值。在卡车正常行驶过程中,对于 $n$ 个采样周期内加速或制动踏板的输入情况如式(1):

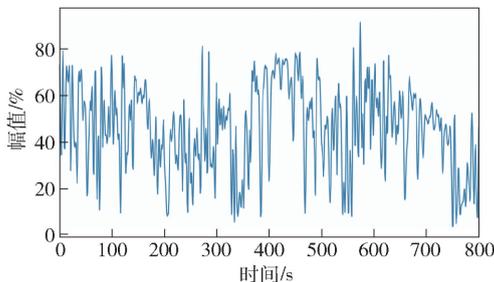


图4 低通滤波处理后的司机常规操作信号

Fig.4 Driver's routine operation signal after low pass filtering processing

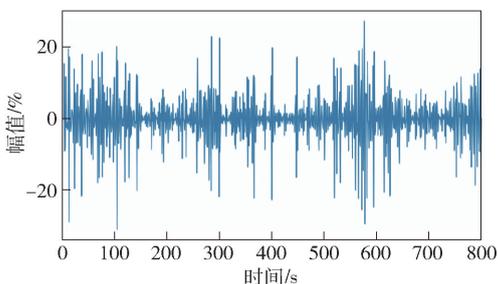


图5 高通滤波处理后的司机执行加速踏板操作信号

Fig.5 Driver's execution of accelerator pedal operation signal after high pass filtering processing

$$A = \{ a_0, a_1, a_2, \dots, a_n \} \quad (1)$$

定义单位时间内司机的控制功率,其计算公式见式(2)。

$$U = \frac{\sum_1^n (a_i - a_{i-1})^2}{n} \quad (2)$$

$U$ 反映了司机在特定路段对卡车加速或制动踏板操作的变化幅度。对于同一司机而言,参数 $U$ 的数值越大,表示了该路段的路况状况较差;相对地,较小的 $U$ 值则表明路况相对较好。

但 $U$ 不仅与道路状况相关,还受到司机随机驾驶行为的影响。为了减少这种偶然性的影响,可以通过计算一段时间内 $U$ 的期望。 $U$ 的期望值越大,表明在该路段司机的操作频率和强度越高,从而反映出该路段的道路状况越差。

### 1.2 道路状况的个体认知

影响司机的控制功率的因素较多。卡车的车型与车况存在差异,司机的操作技能也有熟练与生疏之分,不同型号的卡车以及不同技能水平的司机在不同的时间段内,均会产生不同的控制功率。如在特定路段上,小型卡车运行操作可能会受到道路起

伏的影响,而大型卡车则不受此影响。因此,基于控制功率的评价首先在单台卡车内实现,即每台卡车需对所行驶的不同路段进行评分。

为了保证后续评分工作的一致性并防止因数值过大而产生计算误差,需对单台卡车的道路评分进行归一化处理。对于某一路段上的控制功率 $U$ ,卡车对于该路段的评分分值( $score$ ),其计算式见(3)。

$$score = \frac{U - U_{min}}{U_{max} - U_{min}} \quad (3)$$

式中: $score$ 反映了道路质量的好坏程度,值越接近于1,表明该路段的路况越接近该卡车行驶路段的最差状况;反之,其值越接近0,则说明该路段的路况越接近于该卡车行驶过路段中的最优状况。

### 1.3 道路状况综合评估

由于卡车个体对于道路状况认知的局限性,对特定路段的道路状况进行评分时,必须综合考量所有经过该路段的卡车所提供的评分数据。目前,常见的评分算法包括平均值法、置信度降权法以及贝叶斯平均法等。

对于普通的评分数据集,直接采用平均值法即可实现对所有个体评分的综合评估。然而,实际获取的评分数据集往往呈现病态特征。在某些路段,由于经过的车次较多,平均值法能够有效地进行综合评分。但对于车次较少的路段,该方法可能会放大评分数据中的随机性。因此,对于数据量较少的评分数据,常用的方法是对数据量少的评分做降权处理。

$$r = \frac{N}{N + \mu} \overline{score} \quad (4)$$

式中: $r$ 为待量化道路的最终评分; $N$ 为经过该道路的车次数量; $\mu$ 为可调整的参数, $\mu$ 越大则车次较多的道路将获得更高的评分; $\overline{score}$ 为所有车次评分的平均值。

这种方法能够将不同车次的道路进行区分处理,从而减少车次较少道路评分数据的随机性,但该评分算法在一定程度上会抑制车次较少的道路。在这些道路上,综合评分往往远低于各条道路平均得分 $\bar{r}$ 的分值,这显然是不合理的。

本文采用贝叶斯平均法<sup>[10-11]</sup>对道路进行综合评价。贝叶斯平均法的理论基础源自贝叶斯定理。由于其允许对研究对象给出先验的评估,并在此基础上,通过数据迭代过程对初始假设进行修正,故能有效规避上述问题。贝叶斯平均法的一般公式见式(5)。

$$r = \frac{\mu}{N + \mu} \bar{r} + \frac{N}{N + \mu} \text{score} \quad (5)$$

式中： $\bar{r}$  为所有道路获得评分的平均值。

当一条道路上经过的车次较少时,其评分会接近所有路段评分的平均值,随着经过车次的增加,其综合评分将逐渐接近其真实评分值。

## 2 案例研究

本文综合运用实证数据与现场调研手段,对道路状况评分算法的合理性进行了深入分析。研究选取华能伊敏露天矿的 220t 级卡车作为数据采集对象,并以该矿的道路状况作为评估对象。

### 2.1 数据来源

在案例研究中,加速踏板与制动踏板的输入百分比数据是通过解析卡车电控系统数据获得的。矿用卡车普遍配备有发动机及电控系统的数据接口,便于数据的采集。本文使用的电控系统的数据,是通过读取车辆 CAN 总线<sup>[12-14]</sup>上的信息获取。CAN 总线是控制器局域网( Controller Area Network, CAN)的简称,是一种高效的分布式实时控制串行通信网络,其传输速率最高可达 1 Mbps,且在理想条

件下,通信距离可延伸至 10 km。但直接从 CAN 总线获取数据存在一定的技术难度,因此通常需要借助 CAN 分析仪<sup>[15-17]</sup>将 CAN 总线上的数据转换为通用接口数据格式。本研究中所使用的 CAN 分析仪的具体型号及配置如图 6 所示。



图 6 卡车发动机及电控系统数据转换 CAN 分析仪  
Fig. 6 Truck Engine and Electronic Control System Data Conversion CAN Analyzer

通过对卡车的加速踏板和制动踏板输入信号进行实时监测,可以连续采集到相应的数据信息。本文中所采用的数据采集更新频率为 1 s。在特定时间段内,车辆位置、加速踏板开度等参数的动态变化情况见表 1。

表 1 卡车运行参数动态变化原始数据

Table 1 Original data of dynamic changes in truck operating parameters

采集时间	横坐标/m	纵坐标/m	高程/m	加速踏板/%	制动踏板/%
2019-07-22 19:00:02	1 237. 16	- 11 009. 17	617	47	0
2019-07-22 19:00:03	1 233. 10	- 11 012. 45	617	33	3
2019-07-22 19:00:05	1 231. 25	- 11 014. 21	617	47	0
2019-07-22 19:00:06	1 227. 08	- 11 019. 80	617	58	0
2019-07-22 19:00:07	1 222. 46	- 11 023. 45	619	41	0
2019-07-22 19:00:08	1 216. 07	- 11 028. 65	619	60	0
2019-07-22 19:00:09	1 213. 13	- 11 030. 24	620	33	9

### 2.2 道路状况评价方法的现场研究

基于 2019 年 4 月 220t 级卡车的电控数据,本文计算了不同道路状况的评分值,其中贝叶斯平均法的参数  $\mu$  设定为 10。由于道路状况评估缺乏相应的参考标准,因此,在获取各道路状况评分后,通过现场考察方法对道路状况评分算法的合理性进行了验证。该矿区从机修厂至装载点一段道路上各路段状况的评分情况如图 7 所示<sup>[18-20]</sup>。

在对露天矿入口道路的评估中,道路状况评分

达到 0.06,现场照片可以看出道路平整干净,显示出较好的路面状况;随着道路向矿坑内部的延伸,评分上升至 0.11,此时现场照片表明道路状况略有下降,存在一定的起伏;当道路延伸进矿坑内部时,评分显著升高至 0.69,道路起伏加剧,春季解冻导致路面出现不规则的凹凸不平,路面出现破碎现象。

如前文所述,道路状况评分介于 0 至 1 之间,评分值越高,反映出道路质量越差;反之,评分值越低,则表明道路质量越好。这一结果首先验证了本文所

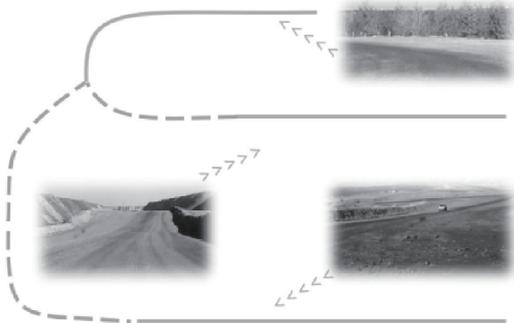


图7 露天矿固定道路上各路段状况的评分结果  
Fig.7 Scoring results of the condition of each section of the fixed road in open-pit mine

提出的假设是合理的,即道路状况的恶化会导致司机操作频率的增加。其次,结果也表明基于司机行为的道路状况在线评估算法得出的结果与现场调查结果相吻合,即道路状况良好时评分较低,而道路状况较差时评分较高。因此,可以得出结论,基于司机行为的道路状况在线评估算法是有效的。

### 3 结语

在露天矿卡车间断生产工艺中,道路路段状况对矿山生产效率、燃油和轮胎消耗以及安全生产等方面具有显著影响。本文通过分析卡车加速踏板与制动踏板的数据,研究了司机在不同路段的行为模式。在此基础上提出了一种评估道路状况的计算方法,并通过试验研究验证了该方法的有效性。研究结果如下。

1) 在路面平整的路段,司机对加速踏板和制动踏板的操作频率显著降低;而在路面状况较差的路段,司机则会增加对加速踏板和制动踏板的操作频率。

2) 所构建的基于驾驶员行为的道路状况在线评估算法具有较高的有效性。即道路状况良好时,其评分较低;反之,道路状况较差时,评分则相对较高。

3) 与传统道路状况监测方法相比,本文所提出的监测方法更为简便易行,尤其适用于露天矿等特殊生产环境。

#### [参考文献]

- [1] 苏靖,刘胜富,张幼蒂,等.露天矿卡车调度理论的系统研究[J].煤炭学报,1997(1):54-57.  
[2] 杨令杰,李克民,王斌.露天矿卡车调度的理论与方法研

- 究[J].露天采矿技术,2006(4):12-14.  
[3] 王忠鑫,辛凤阳,陈洪亮,等.我国露天矿智能运输技术现状及发展趋势[J].工矿自动化,2022,48(6):15-26.  
[4] 李学现,顾清华,阮顺领,等.考虑能耗动态变化的露天矿卡车运输最优路径规划[J].煤炭学报,2021,46(S1):590-600.  
[5] 孙效玉,田凤亮,张航,等.基于GPS数据的露天矿道路路网自动提取[J].煤炭学报,2017,42(11):3059-3064.  
[6] 梁波,苏世毅,罗红.不平整条件下车-路耦合作用动力分析[J].工程力学,2009,26(3):189-194,217.  
[7] 许海亮,袁勇,屈铁军,等.考虑路面不平整度因素的车路耦合振动模型的建立[J].振动与冲击,2014,33(19):152-156.  
[8] 尹艳清,杨湘杰,李必超,等.基于FPGA的快速傅立叶变换算法的实现[J].电子技术与软件工程,2021(6):84-85.  
[9] 郭振涛,迟长春,陈正馨.一种改进加窗三峰插值快速傅立叶变换谐波分析方法[J].上海电机学院学报,2018,21(4):36-41.  
[10] 邓超,胡梅梅,曾文潮.基于贝叶斯界定折叠法的小企业信用评分模型研究[J].管理工程学报,2015,29(4):162-170.  
[11] 蔡青松,陈希厚.基于评分函数的贝叶斯网络结构融合算法[J].计算机工程与应用,2019,55(11):147-152.  
[12] 王桂荣,钱剑敏.CAN总线和基于CAN总线的高层协议[J].计算机测量与控制,2003(5):391-394.  
[13] 鲍官军,计时鸣,张利,等.CAN总线技术、系统实现及发展趋势[J].浙江工业大学学报,2003(1):60-63,68.  
[14] 蒋建文,林勇,韩江洪.CAN总线通信协议的分析和实现[J].计算机工程,2002(2):219-220,248.  
[15] 王旭东,朱蕴璞.基于ARM多处理器的CAN总线分布式控制系统设计[J].国外电子测量技术,2015,34(5):52-55.  
[16] 李智杰,李超智.基于汽车CAN总线概述及其故障检测方法探讨[J].电气传动自动化,2015,37(2):38-43.  
[17] 王锦坚,洪添胜.基于SAE J1939协议的客车CAN总线发动机测试系统[J].工业控制计算机,2009,22(4):82-84.  
[18] 王鹤鹏,任园园.改进遗传算法优化的矿车驱动系统自抗扰控制[J].矿业研究与开发,2021,41(7):176-181.  
[19] 安晓波.20吨内燃机梭式矿车动力传动系统设计与研究[J].有色设备,2023,37(6):66-70.  
[20] 曹福来,尤小梅,崔龙,等.基于体素栅格的矿区敞车车厢自动定位与分割的研究[J].矿业研究与开发,2023,43(4):195-201.

(下转第68页)

## Research on multi speed anti sway and precise positioning control method for bridge crane

MAO Xuanang, QIU Yongfeng\*, ZHENG Yi, ZHA Bo, LIAO Jihong, SHEN Guoteng  
(Hunan Tianqiao Jiacheng Intelligent Technology Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that full-automatic bridge crane controlled by frequency converter and programmable logic controller (PLC) swings due to inertia and wind load during handling, this paper puts forward a multi-speed anti-swing and precise positioning control method for bridge crane. By studying the actual working condition, automatic positioning, anti-swing algorithm and control program development of crane, a mathematical model of multi-speed curve is established, and a PLC anti-swing control program is developed. The control program is embedded in the main control program of crane, and the crane is controlled by frequency converter when positioning and moving. The control method has been tested and applied in the grab crane of iron and steel metallurgy cyclone pool. The positioning accuracy and anti-swing effect meet the requirements of the full-automatic bridge crane for slag grabbing in cyclone pool, which improves the working efficiency of the crane and reduces the safety risk.

**Keywords:** frequency converter; PLC; bridge crane; positioning; anti-swaying; multi-speed curve ▲

(上接第 62 页)

## Online evaluation method for open-pit mine road conditions based on driver behavior

TIAN Fengliang  
(CCTEG Shenyang Engineering Company, Shenyang 110015, China)

**Abstract:** Addressing the challenge of measuring road conditions in open-pit mines, an online evaluation method for mine road conditions based on driver behavior has been proposed. This method is fundamentally based on the assumption that poorer road conditions lead to more frequent driver operations. It uses input from the accelerator and brake pedals during driving as basic data. Given the characteristics of high amplitude and low frequency in drivers' routine operation signals, the Fast Fourier Transform is employed to filter out these routine operations. Based on the filtered results, the driver's control power is used to represent the difficulty of driving on a particular road segment, forming an individual perception of the road by the driver. To reduce the randomness in the evaluation process, the Bayesian scoring method is adopted to obtain a comprehensive score for the road. Field studies have shown that the basic assumption that poorer road conditions result in more frequent driver operations is reasonable, and the online evaluation algorithm for road conditions based on driver behavior is effective.

**Keywords:** open-pit mines; road conditions; driver behavior; fast Fourier transform; online evaluation method ▲